

10-МИКРОННАЯ ЭМИССИОННАЯ ОСОБЕННОСТЬ НЕСФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ОЛИВИНА

Д. В. Петров, А. А. Савушкин, Е. А. Жужулина

Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Многие астрономические объекты, начиная от комет и заканчивая околозвездными дисками, имеют в своем составе силикатные частицы. Спектр силикатов обладает набором эмиссионных особенностей, наиболее характерная из которых находится в спектральном диапазоне около 10 мкм и называется 10-микронной эмиссионной особенностью. Часто 10-микронная эмиссионная особенность изучается в предположении о сферичности рассеивающих частиц. В данной работе мы исследовали вклад несферических частиц (вытянутые и сплюснутые сфероиды) оливина в 10-микронную эмиссионную особенность. Показано, что несферические частицы достаточно большого размера (более 20 мкм) вызывают заметное повышение сечения рассеяния C_{sca} по сравнению со сферами. Таким образом, наблюдаемую 10-микронную эмиссионную особенность больших частиц можно объяснить несферичностью рассеивающих частиц.

10-MICRON EMISSION FEATURE OF NONSPHERICAL OLIVINE PARTICLES

D. V. Petrov, A. A. Savushkin, E. A. Zhuzhulina

Crimean Astrophysical Observatory

Many astronomical objects, from comets to circumstellar disks, contain silicate particles. The spectrum of silicates has a set of emission features, the most characteristic of which is in the spectral range of about 10 microns, and is called a 10-micron emission feature. The 10-micron emission feature is often studied under the assumption that the scattering particles are spherical. In this work, we investigated the contribution of nonspherical particles (elongated and oblate spheroids) of olivine to the 10-micron emission feature. It is shown that enough large non-spherical particles (whose size more than 20 microns) cause a noticeable increasing of scattering cross section C_{sca} in comparison with spheres. Thus, the observed 10-micron emission feature of large particles can be explained by the non-sphericity of the scattering particles.

Введение

Частицы силикатной пыли обнаружены во множестве астрономических объектов, таких как квазары [1], кометы [2], а также околозвездные диски, которые окружают молодые звезды [3]. Наиболее распространенными видами космической пыли являются соединения кремния, железа, магния, кислорода и углерода. Наличие силикатов в околозвездных дисках проявляется в виде набора спектральных особенностей. Наиболее заметная спектральная особенность состоит в увеличении интенсивности излучения в диапазоне длин волн 8–12 мкм и потому именуется 10-микронной эмиссионной особенностью. Физическая причина этой особенности состоит в наличии у силикатов колебательных энергетических уровней связей Si—O [2].

Основной вклад в формирование 10-микронной эмиссионной особенности вносит оливин [2]. В частности, в ходе лабораторных экспериментов с использованием спектрометра среднего ИК-диапазона были исследованы спектры больших (размером до 0.5 мм) частиц оливина неправильной формы в поисках 10-микронной эмиссионной особенности. Эта особенность была экспериментально обнаружена [4], хотя расчеты, проводимые в предположении о сферичности рассеивающих частиц, показали, что столь большие частицы проявлять данную особенность не должны. В то же самое время в работе [5] было изучено влияние несферичности на 10-микронную эмиссионную особенность кварца. Было показано, что несферичность рассеивающих частиц кварца оказывает заметное влияние на 10-микронную эмиссионную особенность. Потому интересно изучить вопрос, как отклонения от сферичности влияют на 10-микронную эмиссионную особенность оливина. Изучению данного вопроса и посвящена эта работа.

Методика вычислений

Для исследований потребовалось достаточно большое количество компьютерных вычислений, для которых была использована наиболее быстрая программа для вычисления рассеивающих свойств сфероидов, разработанная Михаилом Мищенко [6]. Вычислительный метод основан на методе Т-матриц [7] и оптимизирован для частиц, обладающих осью вращения, что максимально упрощает и ускоряет вычисления [8]. В качестве объекта изучения использовались сферойды (эллипсоиды вращения) с соотношением осей a/b . Здесь b — размер частицы вдоль оси вращения, a — размер оси, перпендикулярной оси вращения. Следовательно, при $a/b < 1$ получается сфероид, вытянутый вдоль оси вращения, при $a/b > 1$ получается сфероид, сплюснутый вдоль оси вращения, при $a/b = 1$ получается сферическая частица (рис. 1). В данной работе были изучены частицы с соотношением осей $a/b = 0.8$, $a/b = 1.0$ и $a/b = 1.2$.

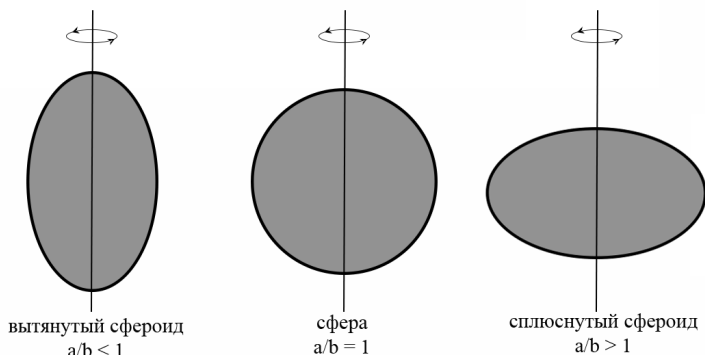


Рис. 1. Примеры изучаемых частиц: вытянутый сфероид, сфера, сплюснутый сфероид

Следует также отметить, что положение эмиссионной спектральной особенности сильно зависит от размера частицы R . В случае сферы под размером частицы подразумевается радиус сферы, а в случае вытянутого и сплюснутого сфероидов — радиус сферы эквивалентного объема. Основным параметром, определяющим свойства спектрально-эмиссионной особенности, является комплексный показатель преломления $m = n + i \cdot k$. Спектральная

зависимость действительной и мнимой частей показателя преломления оливина (рис. 2) взята из работы [9].

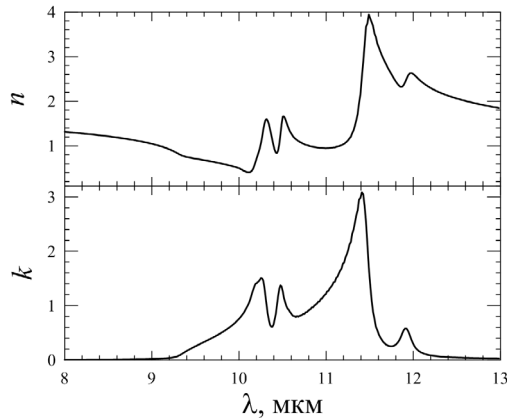


Рис. 2. Спектральная зависимость действительной (верхняя панель) и мнимой (нижняя панель) частей показателя преломления оливина

Результаты и обсуждение

Одной из важнейших характеристик рассеяния света является сечение рассеяния C_{sca} . Эта физическая величина показывает, насколько эффективно перерассеивает свет рассеивающий объект. Мы рассчитали C_{sca} света, рассеянного на вытянутых и сплюснутых частицах оливина, для разных длин волн и размеров рассеивающей частицы. Из рис. 3, где демонстрируется карта разности сечений рассеяния, видно, что в спектральном диапазоне от 9 до 12 μm при достаточно больших размерах рассеивающих частиц (выше 20 μm) проявляется заметное повышение сечения рассеяния C_{sca} несферических частиц по сравнению со сферами. Таким образом, наблюдаемую 10-микронную эмиссионную особенность больших частиц можно объяснить несферичностью рассеивающих частиц.

Выводы

В данной работе было изучено влияние отклонения от сферической формы рассеивающих частиц оливина на формирование 10-микронной эмиссионной особенности. Показано, что несферические частицы достаточно больших размеров вызывают повышение интенсивности рассеянного света в спектральном диапазоне от 9 до 12 μm . Таким образом, наблюдаемая 10-микронная эмиссионная особенность больших частиц оливина, которая не находит объяснения в рамках предположения о сферичности рассеивателя, может быть объяснена несферичностью рассеивающих частиц.

Библиографические ссылки

- [1] Hao Lei, Spoon H. W. W., Sloan G. C. et al. The Detection of Silicate Emission from Quasars at 10 and 18 Microns // *Astrophys. J. Lett.* — 2005. — Vol. 625, № 2. — P. L75—L78. [astro-ph/0504423](#).

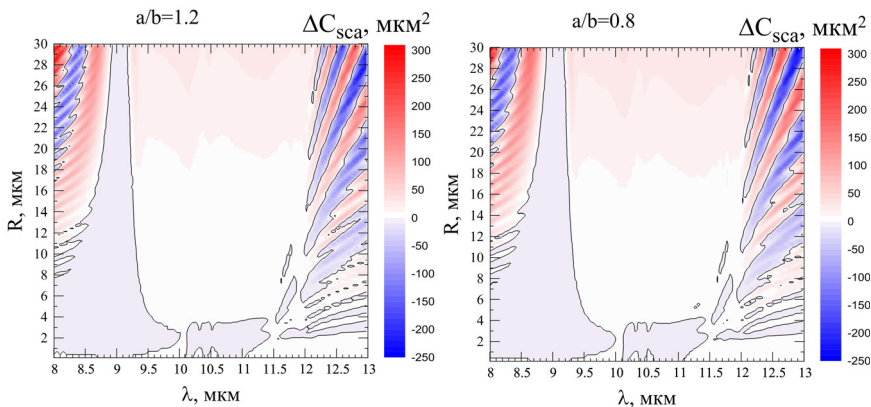


Рис. 3. Карта разности сечения рассеяния C_{sca} несферической ($a/b = 1.2$ для левой панели и $a/b = 0.8$ для правой панели) и сферической частицы в зависимости от размера (вертикальная шкала) и длины волны (горизонтальная шкала)

- [2] *Hanner M. S., Gehrz R. D., Harker D. E. et al.* Thermal Emission From The Dust Coma Of Comet Hale-Bopp And The Composition Of The Silicate Grains // *Earth Moon and Planets.* — 1997. — Vol. 79. — P. 247–264.
- [3] *Malfait K., Waelkens C., Waters L. B. F. M. et al.* The spectrum of the young star HD 100546 observed with the Infrared Space Observatory // *Astron. Astrophys.* — 1998. — Vol. 332. — P. L25–L28.
- [4] *Chornaya Ekaterina, Zakharenko Alexander M., Zubko Evgenij et al.* Revisiting the particle-size constraint of the 10- μ m silicate feature // *Icarus.* — 2020. — Vol. 350. — P. 113907.
- [5] *Петров Д. В., Жужулина Е. А., Савушкин А. А.* Влияние формы рассеивающих частиц на силикатную особенность SiO_2 // *Известия Крымской астрофизической обсерватории.* — 2020. — Т. 116. — С. 41–48.
- [6] *Mishchenko Michael I., Travis Larry D.* T-matrix computations of light scattering by large spheroidal particles // *Optics Communications.* — 1994. — Vol. 109, № 1–2. — P. 16–21.
- [7] *Mishchenko M. I., Travis L. D., Mackowski D. W.* T-matrix computations of light scattering by nonspherical particles: a review. // *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.* — 1996. — Vol. 55, № 5. — P. 535–575.
- [8] *Wieland Dingeman J., Mishchenko Michael I., Macke Andreas, Carlson Barbara E.* Improved T-matrix computations for large, nonabsorbing and weakly absorbing nonspherical particles and comparison with geometrical-optics approximation // *Applied Optics.* — 1997. — Vol. 36, № 18. — P. 4305–4313.
- [9] *Fabian D., Henning T., Jäger C. et al.* Steps toward interstellar silicate mineralogy. VI. Dependence of crystalline olivine IR spectra on iron content and particle shape // *Astron. Astrophys.* — 2001. — Vol. 378. — P. 228–238.